

La espectroscopía al alcance de los aficionados

Por: Moisés Montero Reyes Ortíz

Al levantar la vista al cielo y percibir los diferentes colores y brillos de las estrellas, todos nos hemos preguntado alguna vez de qué están hechas, a qué distancia se encuentran y qué tan frías o calientes son; preguntas que desde la antigüedad han inquietado a la humanidad, y que ahora, la tecnología y ciencia modernas nos permiten contestar. Pero, alguna vez nos preguntamos ¿será posible determinar alguno de estos datos por nosotros mismos, con nuestro propio esfuerzo y nuestro propio equipo?

La respuesta corta es sí, al menos de manera aproximada. Con un espectroscopio de aficionado y una cámara comercial (que combinados se convierten en un espectrógrafo), es posible para un astrónomo aficionado determinar no solo la temperatura de las estrellas, sino también los elementos químicos y otras características presentes en sus atmósferas, y, en muchos casos, ni siquiera se necesita un telescopio ni conocimientos profundos en astrofísica.

A continuación, y en base a mi limitada experiencia en el tema, resumiré brevemente la forma de lograrlo.

La primera experiencia exitosa en espectroscopía, la tuve con la renombrada estrella Betelgeuse (Alpha Orionis), ahora célebre en revistas, artículos y en redes sociales por su repentino debilitamiento en brillo (finales de 2019) y por el hecho de hallarse en camino a convertirse en una supernova.

Pero, ¿qué es un espectroscopio? Es un artefacto que separa la luz en los colores que la componen, presentando así un espectro. Dichos colores están asociados a las longitudes de onda. De esta manera, los espectroscopios se usan para conocer los rasgos de los cuerpos que emiten o absorben luz.

Existen diferentes tipos de espectroscopios que son accesibles a los aficionados. Éstos se clasifican de acuerdo a su fabricación en: espectroscopios de rejilla (slitless) y espectroscopios de ranura (slit).

En mi caso, para obtener el espectro de Betelgeuse, se utilizó una rejilla de difracción modelo SA-100 (Star Analyzer), siendo éste un espectroscopio slitless de baja resolución¹. Este artefacto se enrosca fácilmente al teleobjetivo de una cámara haciendo uso de un adaptador adecuado, o también se puede acoplar al porta-ocular de cualquier telescopio. Además, se utilizó una montura ecuatorial con seguimiento, con el fin de lograr algunos segundos de exposición fotográfica del espectro (Figura 1)



Figura 1

Equipo utilizado para la obtención del espectro de Betelgeuse

Nota: Un telescopio solo es necesario para la captura de espectros de estrellas más débiles

Para obtener el perfil espectrográfico de Betelgeuse a partir de una fotografía, se utilizó el software Rspec, [disponible comercialmente](#), el cual permite realizar la calibración

¹ La "resolución", es la capacidad de nuestro equipo (combinación espectroscopio-cámara-telescopio) para lograr separar o distinguir las diferentes líneas que conforman un espectro.

del espectro en pocos pasos (también existe software gratuito). A continuación, se resume en líneas generales el concepto de "calibración" de un espectro.

En principio, se tienen dos tipos de calibración básica:

- (a) Calibración por dispersión, y
- (b) Calibración por respuesta de instrumento.

Además, existe otro tipo de calibración conocida como "calibración de flujo", aunque es raramente utilizada por aficionados.

La calibración por dispersión, consiste en asignar una longitud de onda a las diferentes líneas de absorción o emisión del espectro², mientras que la calibración por respuesta de instrumento considera los siguientes aspectos:

- El efecto causado por la atmósfera y el tren óptico del telescopio sobre la luz de la estrella, y
- La sensibilidad de la cámara, dado que la misma no es igual para todas las longitudes de onda.

Para lograr una calibración adecuada, se debe utilizar una estrella de referencia, la cual hace las veces de patrón, ya que debe tratarse de una estrella (no variable) de un tipo espectral conocido. En mi caso, se utilizó como patrón a la estrella más brillante del firmamento: Sirio, de tipo espectral "A".

La técnica consiste en capturar fotográficamente tanto la estrella objetivo como la estrella de referencia para obtener así sus espectros (Figura 2). Posteriormente, con ayuda del software, se utiliza la estrella de referencia como patrón para la calibración por dispersión y calibración por respuesta de instrumento de la estrella objetivo. Los detalles técnicos para la reducción y calibración de los espectros, se pueden hallar en el manual del software utilizado y en el documento "[AAVSO guide to getting started in spectroscopy](#)".

² Las líneas de absorción se producen cuando los átomos presentes en la atmósfera estelar absorben radiación electromagnética, mientras que las líneas de emisión se producen cuando éstos emiten radiación electromagnética. En ambos casos, las líneas delatan al elemento químico presente, ya que cada elemento absorbe o emite radiación en longitudes de onda ya conocidas (determinadas en el laboratorio).

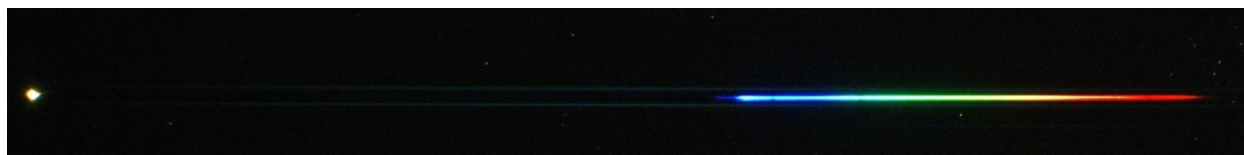


Figura 2

A la izquierda: Sirio.

A la derecha: El espectro de la estrella, tal como fue registrado por la cámara.

Con algo de práctica, el proceso solo demora unos minutos, y permite obtener un espectro calibrado. En la figura 3, se observa el espectro calibrado de Betelgeuse, obtenido el 27 de diciembre de 2022 desde la ciudad de Cochabamba - Bolivia.



Figura 3.

Espectro calibrado de Betelgeuse. Se resaltan las líneas de absorción más notorias.

Ahora bien, ¿qué información podemos obtener a partir de un espectro? Con un espectroscopio de baja resolución como el SA-100, se puede obtener, para empezar, información de los elementos químicos presentes en la atmósfera estelar, y una idea de la temperatura en su fotosfera. Aunque, la información que se podría obtener con un [espectroscopio de alta resolución](#) se amplía dramáticamente.

El proceso básico es el siguiente:

(a) Determinación de la composición química

Una vez calibrado el espectro, podemos determinar la presencia de elementos livianos y la metalicidad³ de la estrella a partir de las longitudes de onda de las líneas de absorción y emisión. Para ello, solo debemos consultar la base de datos incluida en el software, donde cada longitud de onda característica está asociada a un elemento químico (lo cual fue determinado hace ya mucho tiempo en los laboratorios).

Asimismo, es muy recomendable utilizar el libro "[Spectral Atlas for Amateur Astronomers](#)" como ayuda para reconocer líneas y asignarles una longitud de onda.

En la figura 4, se observan los elementos químicos presentes en la atmósfera de Betelgeuse, mismos que fueron determinados consultando la información del documento citado en el párrafo anterior y con la ayuda del software.

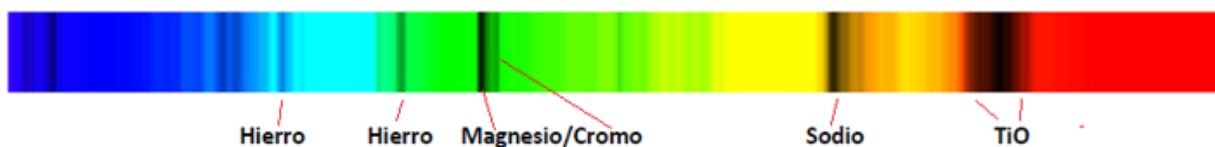


Figura 4

Espectro sintético de Betelgeuse, obtenido con la rejilla de difracción SA-100.

Nota: Se observan dos líneas diferentes de hierro, lo que significa que se trata del mismo elemento, pero con diferentes grados de excitación.

(b) Determinación aproximada de la temperatura

Para este caso, la temperatura de la estrella se determina comparando su espectro con un espectro de librería⁴. La determinación es solo aproximada, ya que se realiza a

³ La metalicidad es el concepto astrofísico que se utiliza para describir la abundancia relativa de elementos más pesados que el helio en una estrella.

⁴ El software Rspec utiliza la librería de espectros de Pickles, la cual no es más que una base de datos de espectros estelares de diferentes tipos (obtenidos desde observatorios profesionales)

"ojo", comparando el espectro de la estrella con los diferentes espectros de la base de datos inserta en el software, hasta hallar el espectro que mejor coincida en forma con el nuestro.

En la figura 5, se observa que el espectro que mejor coincide con el de Betelgeuse, resulta ser un espectro estelar de tipo m2iii.

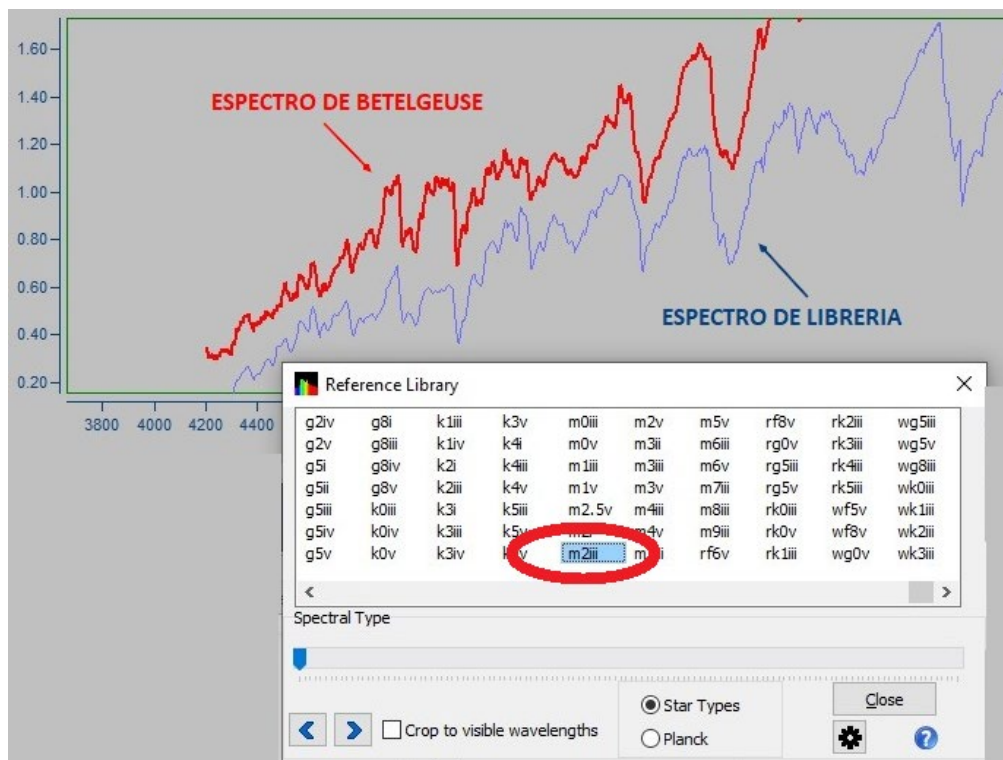


Figura 5

Espectro de Betelgeuse comparado con un espectro de librería. Se separaron intencionalmente en el sentido vertical para resaltar las similitudes y diferencias

Finalmente, una vez determinado el tipo espectral, basta con consultar la tabla 1, donde tenemos una referencia de tipos espectrales vs temperaturas. Tablas como ésta se pueden encontrar en diferentes publicaciones, sitios web y artículos de astronomía.

Spectral type characteristics

Spectral Type	Temperature (K)	Absolute Magnitude	Luminosity (in solar luminosities)
M0	3750	7.7	0.069
M1	3700	7.8	0.064
M2	3600	7.9	0.054
M3	3500	8.1	0.046
M4	3400	8.3	0.038
M5	3200	8.7	0.026
M6	3100	8.9	0.022
M7	2900	9.4	0.014
M8	2700	9.9	0.0093

Tabla 1

En el caso del tipo espectral obtenido para Betelgeuse, la temperatura resulta ser de 3600 kelvin. Es importante mencionar que Betelgeuse es una estrella variable de tipo semi-regular, con un periodo de variación de 423 días, por lo cual la temperatura de su superficie puede variar varios cientos de grados Kelvin durante cada pulsación.

Ahora bien, ¿qué sigue? Pues, la cereza del pastel: reportar nuestro trabajo. Para ello, existen diferentes bases de datos a las que podemos remitir nuestros espectros. En mi caso, los espectros obtenidos son reportados a la base de datos de la AAVSO (Asociación Americana de Observadores de Estrellas Variables), que recibe solamente espectros de estrellas variables⁵. En muchos casos, existe la posibilidad de colaborar con [solicitudes de astrónomos profesionales](#) para el envío de espectros de estrellas determinadas durante periodos de tiempo específicos. La base de datos de la AAVSO, constituye un repositorio que puede ser consultado por los astrofísicos y que tiene el potencial de proporcionar información crítica para el avance de nuestro conocimiento, así como resolver antiguos misterios, como ser, el confuso comportamiento de las variables semirregulares, o, el todavía incompleto entendimiento de las variables tipo RV Tauri.

⁵ El primer espectro reportado, es evaluado exhaustivamente por expertos antes de ser admitido en la base de datos. El objetivo es evaluar la capacidad del observador para realizar un trabajo aceptable desde el punto de vista científico (Se reporta solo el espectro, no así los datos de elementos o temperatura)



A continuación, se comparten un par de enlaces de espectros reportados a la AAVSO:

[Espectro de Betelgeuse](#) (Variable semirregular)

[Espectro de tet Mus](#) (Variable de tipo Wolf-Rayet)

Conclusión

A diferencia de muchos otros pasatiempos, la astronomía aficionada no solo nos procura satisfacción personal, sino que nuestro trabajo (cuando es reportado) puede definitivamente constituir un verdadero aporte para el conocimiento.

Con equipo relativamente accesible y el software adecuado, podemos obtener fácilmente desde nuestro jardín, información sobre la astrofísica estelar, lo cual era impensable para los aficionados hace algunas décadas. No se requiere un grado académico en ciencias para lograr aquello, es suficiente con algo de curiosidad, acompañada de práctica y lectura para lograr un trabajo científicamente útil.

***“EQUIPADO CON SUS CINCO SENTIDOS, EL HOMBRE EXPLORA EL UNIVERSO A SU
ALREDEDOR Y A ESTO LO LLAMA LA AVENTURA DE LA CIENCIA”
EDWÍN HUBBLE***

Artículo publicado el 19 de agosto, invierno de 2023